

CLIPPEDIMAGE= JP410231938A

PAT-NO: JP410231938A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10231938 A

TITLE: NON-CONTACT TYPE MECHANICAL SEAL

PUBN-DATE: September 2, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

FUKUI, TOSHIO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIPPON PILLAR PACKING CO LTD

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP09033800

APPL-DATE: February 18, 1997

INT-CL (IPC): F16J015/34

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a non-contact type mechanical seal which can exert good sealing function specified by the design in accordance with the given conditions including the seal structure and which can be easily designed and fabricated.

SOLUTION: The second seal ring 24 is formed from a seal ring body 241 made of carbon and a silicon carbide film 242 formed as covering part of the body 241. The surface of the film 242 is formed in the second sealing end face 24a to constitute a ring-shaped plane parallel with the first sealing end face 22a on low pressure conditions where no pressure strain is generated (see Fig. A). The thickness T of the silicon carbide film 242 is set so that the second

sealing end face 24a is elastically deformed to a ring-shaped taper surface capable of forming a ring-shaped space 27 having a wedge-shaped section gradually narrowing in the non-seal fluid region A<SB>2</SB> in the area to the first sealing end face 22a because of the interference of the elastic strain in the silicon carbide film 242 with the pressure strain in the ring body 241 on high pressure conditions where pressure strain is generated (see Fig. B).

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-231938

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月2日

(51) IntCl.⁶

F 1 6 J 15/34

識別記号

F I

F 1 6 J 15/34

C

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-33800

(22) 出願日 平成9年(1997) 2月18日

(71) 出願人 000229737

日本ビラー工業株式会社

大阪府大阪市淀川区野中南2丁目11番48号

(72) 発明者 福井 寿夫

兵庫県三田市下内神字打場541番地の1

日本ビラー工業株式会社三田工場内

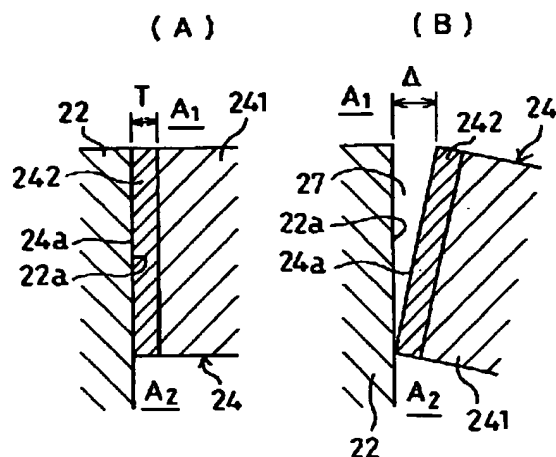
(74) 代理人 弁理士 杉本 丈夫 (外1名)

(54) 【発明の名称】 非接触形メカニカルシール

(57) 【要約】

【課題】 シール構造を含むシール条件に応じて、良好なシール機能を発揮しうる非接触形メカニカルシールを容易に設計、製作することができ、設計通りのシール機能を発揮させることができるようにする。

【解決手段】 第2密封環24を、カーボン製の密封環本体241とその一部に被覆形成された炭化珪素膜242とで構成する。炭化珪素膜242の膜表面は、圧力歪が生じない低圧条件下において第1密封端面22aに平行する環状平面をなす第2密封端面24aに構成されている(A図)。炭化珪素膜242の膜厚Tは、圧力歪が生じる高圧条件下において、当該炭化珪素膜242に生じる弾性歪と密封環本体241に生じる圧力歪との干渉により第2密封端面24aが第1密封端面22aとの間に非密封流体領域A₂方向に漸次窄まる断面楔状の環状空間27を形成しうる環状テーパ面に弾性変形されるように、設定されている(B図)。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1密封環とその構成材より軟質のカーボンからなる第2密封環とを、第2密封環に被密封流体により弾性限度内の圧力歪が生じる高圧条件下で相対回転させることにより、両密封環の対向端面たる第1及び第2密封端面間にその内外周側領域である被密封流体領域と非密封流体領域とをシールするように構成された非接触形メカニカルシールにおいて、第2密封環をカーボン製の密封環本体とその一部に被覆形成された炭化珪素膜とで構成して、その膜表面を、上記圧力歪が生じない低圧条件下において第1密封端面に平行する環状平面をなす第2密封端面に構成すると共に、その膜厚を、上記高圧条件下において、第2密封端面が上記した低圧条件下での形状を維持すべく、当該炭化珪素膜が前記密封環本体に生じる圧力歪とバランスする弾性歪を生じるように、設定したことを特徴とする非接触形メカニカルシール。

【請求項2】 第1密封環とその構成材より軟質のカーボンからなる第2密封環とを、第2密封環に被密封流体により弾性限度内の圧力歪が生じる高圧条件下で相対回転させることにより、両密封環の対向端面たる第1及び第2密封端面間にその内外周側領域である被密封流体領域と非密封流体領域とをシールするように構成された非接触形メカニカルシールにおいて、第2密封環をカーボン製の密封環本体とその一部に被覆形成された炭化珪素膜とで構成して、その膜表面を、上記圧力歪が生じない低圧条件下において第1密封端面に平行する環状平面をなす第2密封端面に構成すると共に、その膜厚を、上記高圧条件下において、当該炭化珪素膜に生じる弾性歪と前記密封環本体に生じる圧力歪との干渉により第2密封端面が第1密封端面との間に非密封流体領域方向に漸次窄まる断面楔状の環状空間を形成しうる環状テーパ面に弾性変形されるように、設定したことを特徴とする非接触形メカニカルシール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、第1密封環とその構成材より軟質のカーボンからなる第2密封環とを、第2密封環に被密封流体により弾性限度内の圧力歪が生じる高圧条件下で相対回転させることにより、両密封環の対向端面たる第1及び第2密封端面間にその内外周側領域である被密封流体領域と非密封流体領域とをシールするように構成された非接触形メカニカルシールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 この種の非接触形メカニカルシールは、一般に、両密封端面をその間に作用する動圧により非接触状態に保持させるように構成された動圧形シールと両

密封端面をその間に作用する静圧により非接触状態に保持させるように構成された静圧形シールとに大別される。一般に、動圧形シールは、タービン、プロワ、遠心圧縮機等の高圧気体を扱う回転機器に使用され、静圧形シールは、ポンプ等の高圧液を扱う回転機器に使用されている。

【0003】 而して、従来の動圧形シール m_1 は、例えば図8に示す如く、回転軸11に固定された第1密封環12と、シールケース13に保持環15及びOリング16を介して軸線方向摺動可能に保持されたカーボン製の第2密封環14と、第2密封環14を第1密封環12へと押圧附勢するスプリング17とを具備してなり、両密封環12、14の対向端面である第1及び第2密封端面12a、14aをその間に動圧を発生させることにより非接触状態に保持して、両密封端面12a、14a間にてその外周側領域である被密封流体領域 A_1 と内周側領域である非密封流体領域 A_2 とをシールするように構成されている。第1密封環12の密封端面たる第1密封端面12aには、被密封流体領域 A_1 に開口する動圧発生溝12bが形成されていて、密封環12、14の相対回転により密封端面12a、14aに被密封流体による動圧を発生させるようになっている。両密封端面12a、14aは、その間に発生された動圧と第2密封環14に作用する被密封流体による背圧及びスプリング17の附勢力とがバランスすることにより、図9(A)に示す如く、微小間隔を隔てた非接触状態に保持される。

【0004】 また、従来の静圧形シール m_2 は、所謂テーパフェースシールと称されるもので、例えば図10に示す如く、回転軸21に固定された第1密封環22と、シールケース23にOリング25を介して軸線方向摺動可能に保持されたカーボン製の第2密封環24と、第2密封環24を第1密封環22へと押圧附勢するスプリング26とを具備して、両密封環22、24の対向端面である第1及び第2密封端面22a、24a間にてその外周側領域である被密封流体領域 A_1 と内周側領域である非密封流体領域 A_2 とをシールするように構成されている。第1密封環22の密封端面である第1密封端面22aは、動圧形シール m_1 における第1密封端面12aと同様に、軸線に直交する環状平面とされているが、第2密封端面24aは、第1密封端面22aとの間に内周方向（非密封流体領域 A_2 方向）に漸次窄まる断面楔状の環状空間27を形成しうる環状テーパ面（凸状の截頭円錐面）とされている。なお、以下の説明において、被密封流体領域 A_1 の被密封流体圧力 P は、非密封流体領域 A_2 の非密封流体圧力を基準とするものとする。各シール m_1 、 m_2 において、非密封流体領域 A_2 は大気領域であることが多いが、かかる場合には、被密封流体圧力 P は大気圧を基準とするゲージ圧を意味することになる。

【0005】 かかる静圧形シールたるテーパフェースシ

ール m_2 にあっては、密封端面22a、24a間に被密封流体の漏れ方向（非密封流体領域 A_2 方向）に漸次狭まる断面楔状の環状空間27が形成されることから、被密封流体圧力 P により、軸線方向に移動可能な第2密封環24には図11に示す如き圧力分布をなす閉力 F_c と開力 F_o とが作用して、密封端面22a、24a間に隙間 S が形成される。そして、この隙間 S は、閉力 F_c と開力 F_o とがバランスされた状態で安定し、一定の微小隙間（以下「平衡隙間 S_0 」という）に保持される。ここに、閉力 F_c は第2密封環24に作用する背圧によって（より正確には、被密封流体圧力による背圧及びスプリング26による附勢力によって）生じるものであり、開力 F_o は環状空間7に侵入した被密封流体の圧力（静圧）によって生じるものである。ところで、閉力 F_c は背圧（及びスプリング26）によるものであるから、図12に鎖線で示す如く、被密封流体圧力 P が変動しない限り一定であるが、開力 F_o は環状空間27に作用する静圧によるものであるから、同図に破線で示す如く、隙間 S の変動によって反比例的に変化する。つまり、開力 F_o は隙間 S が大きくなるに従って減少し、小さくなるに従って増大することになる。したがって、隙間 S が平衡隙間 S_0 より大きくなると、開力 F_o が閉力 F_c より小さくなって密封端面22a、24a間が閉じられ、逆に隙間 S が平衡隙間 S_0 より小さくなると、開力 F_o が閉力 F_c より大きくなって密封端面22a、24a間が開かれて、何れの場合にも、隙間 S は閉力 F_c と開力 F_o とがバランスされた平衡隙間 S_0 に復帰、保持されることになる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記した従来の非接触形メカニカルシール m_1 、 m_2 にあっては、その何れにおいても、カーボン製の第2密封環14、24に生じる圧力歪により第2密封端面14a、24aが弾性変形するため、高圧条件下では良好なシール機能を期待し得ないといった問題があった。

【0007】すなわち、静圧形シール m_1 にあっては、両密封端面12a、14aを、その間に発生させた動圧により、流体膜が介在する非接触状態に保持させることから、良好なシール機能を発揮させるためには、図9

(A)に示す如く、両密封端面12a、14aを平行状態に維持させておくことが必要である。しかし、第2密封環14が第1密封環12より軟質のカーボンからなるものであるため、高圧条件下では、第2密封環14に被密封流体による圧力歪（弾性歪）が生じて、第2密封端面14aが、図9(B)に示す如く、両密封端面12a、14aの間隔が内周方向に漸次拡大するような状態（以下「外高状態」という）に弾性変形する虞れがある。

【0008】ところで、動圧発生溝12bは密封端面12a、14aの外周側（被密封流体領域 A_1 ）に開口さ

れたものであり、密封端面12a、14aの相対回転により被密封流体をその開口部から密封端面12a、14a間に導入させて内周側（非密封流体領域 A_2 ）へとポンピングさせる形状のものとされていることから、第2密封端面12aが歪んで両密封端面12a、14aの平行性が損なわれた場合、両密封端面12a、14aが平行状態にある場合に比して、両密封端面12a、14a間の動圧が、外周側において小さく且つ内周側において大きくなるように変化する。その結果、第2密封端面12aには第1密封端面14aとの間隔を外周側において狭めようとする方向のモーメントが作用することになる。

【0009】したがって、第2密封端面12aが、仮に、図9(C)に示す如く、両密封端面12a、14aの間隔が外周方向に漸次拡大するような状態（以下「内高状態」という）に歪んだ場合には、上記モーメントの作用によって、内高状態から平行状態に自動的に復元修正されることになるが、第2密封端面14aが外高状態に歪むと、上記モーメントが第2密封端面14aの歪を却って増大させるべく作用することになる。すなわち、このモーメントによって、両密封端面12a、14aの間隔が内周側においては更に拡大され、外周側において両密封端面12a、14aが接触せしめられることになる。その結果、シール機能が大幅に低下し、特に、外周側においては密封端面12a、14a同士が接触破損して、シール機能が停止する虞れがある。

【0010】一方、テーパフェースシール m_2 においても、高圧条件下では、カーボン製の第2密封環24に圧力歪（弾性歪）が生じて、第2密封端面24aが、そのテーパ量（密封端面24aにおける内外周端間の軸線方向距離） Δ を減じる方向に弾性変形する虞れがあり、極端な場合には断面楔状の環状空間7が消失してしまう虞れがある。これは、動圧形シール m_1 において第2密封端面14aが外高状態に弾性変形する現象と同一であるが、このような状態となると、閉力 F_c にバランスしうるに足る開力 F_o が確保されなくなって、密封端面2a、4a間に所定の平衡隙間 S_0 を確保、維持することができなくなり、シール機能が大幅に低下することになる。

【0011】本発明は、このような点に鑑みてなされたもので、カーボン材製の第2密封環に圧力歪が生じるような高圧条件下においても、第2密封端面を適正な状態に維持させて良好なシール機能を発揮しうる非接触形メカニカルシールを提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、第1密封環とその構成材より軟質のカーボン材からなる第2密封環とを、第2密封環に被密封流体により弾性限度内の圧力歪が生じる高圧力条件下で相対回転させることにより、両

10

20

30

40

50

密封環の対向端面たる第1及び第2密封端面間にてその内外周側領域である被密封流体領域と非密封流体領域とをシールするように構成された非接触形メカニカルシールにおいて、上記の目的を達成すべく、次のように構成しておくことを提案するものである。

【0013】すなわち、請求項1に記載された本発明の非接触形メカニカルシール（以下「第1シール」という）においては、特に、第2密封環をカーボン製の密封環本体とその一部に被覆形成された炭化珪素膜とで構成して、その膜表面を、上記圧力歪が生じない低圧条件下において第1密封端面に平行する環状平面をなす第2密封端面に構成すると共に、その膜厚を、上記高圧条件下において、第2密封端面が上記した低圧条件下での形状を維持すべく、当該炭化珪素膜が前記密封環本体に生じる圧力歪とバランスする弾性歪を生じるように、設定しておくことを提案する。このように構成しておくことによって、第2密封環に圧力歪が生じる高圧条件下においても、第2密封端面を第1密封端面に平行する適正状態に維持し得て、良好なシール機能を発揮させることができる。

【0014】また、請求項2に記載された本発明の非接触形メカニカルシール（以下「第2シール」という）においては、特に、第2密封環をカーボン製の密封環本体とその一部に被覆形成された炭化珪素膜とで構成して、その膜表面を、上記圧力歪が生じない低圧条件下において第1密封端面に平行する環状平面をなす第2密封端面に構成すると共に、その膜厚を、上記高圧条件下において、当該炭化珪素膜に生じる弾性歪と前記密封環本体に生じる圧力歪との干渉により第2密封端面が第1密封端面との間に非密封流体領域方向に漸次窄まる断面楔状の環状空間を形成しうる環状テーパ面に弾性変形されるように、設定しておくことを提案する。このように構成しておくことによって、第2密封環に圧力歪が生じる高圧条件下において、第2密封端面を適正な環状テーパ面に維持し得て、良好なテーパフェースシール機能を発揮させることができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、第1及び第2シールの実施の形態を、図1～図7に基づいて具体的に説明する。

【0016】すなわち、図1～図4は第1シールの実施の形態を示したものである。この実施の形態における第1シールM₁は、図1に示す如く、タービン軸等の回転軸11に固定された第1密封環12と、シールケース13に保持環15及びリング16を介して軸線方向摺動可能に保持された第2密封環14と、第2密封環14を第1密封環12へと押圧附勢するスプリング17とを具備してなり、両密封環12、14の対向端面である第1及び第2密封端面12a、14aをその間に動圧を発生させることにより非接触状態に保持して、密封端面12a、14a間にてその外周側領域である被密封流体領域

（例えば、タービン等の機内である高圧ガス領域）A₁と内周側領域である非密封流体領域（例えば、タービン等の機外である大気領域）Lとをシールするように構成されている。この第1シールM₁は、以下に述べる第2密封環14の構成を除いて、図8に示す公知の動圧形シールm₁と同一構造をなすものであるから、同一部材については同一の符号を付すことによって、その詳細は省略する。なお、第1密封環12は、その密封端面たる第1密封端面12aを軸線に直交する環状平面としたもので、WC、SiC等の超硬質材で構成して、カーボン製の密封環が圧力歪を生じるような高圧条件下においても、第1密封端面12aが圧力歪により変形されることのないものである。また、第1密封端面12aには、被密封流体領域A₁に開口する適宜形状の動圧発生溝12bが形成されていて、回転軸11の回転に伴い密封端面12a、14a間に被密封流体による動圧を発生させるようになっている。

【0017】而して、この第1シールM₁にあっては、本発明に従って、第2密封環14を次のように構成して

【0018】すなわち、第2密封環14は、図1及び図2（A）に示す如く、第1密封環2の構成材より軟質のカーボンからなる密封環本体141と、その一部であるノーズ部141aに被覆形成された炭化珪素膜142とからなる。密封環本体141は、先端部をその内外周部を切欠して得られた環状のノーズ部141aに構成した断面凸字状のものである。炭化珪素膜142は、常法によりノーズ部141aの先端面に被覆形成された均一厚さのものであり、その膜表面を第1密封端面12aに平行する環状平面をなす第2密封端面14aに構成してある。つまり、第2密封端面14aは、カーボン製の密封環本体141に被密封流体による圧力歪が全く生じない又は殆ど生じない低圧条件下（例えば、運転初期の状態）では軸線に直交する平滑面をなすように、鏡面加工されたものである。

【0019】そして、炭化珪素膜142の膜厚（表面を密封端面に鏡面加工した後の膜厚）Tは、カーボン製の密封環本体141に被密封流体による弾性限度内の圧力歪が生じる高圧条件下（当該第1シールM₁が通常運転されている状態）において、第2密封端面14aが上記した低圧条件下での形状を維持すべく、当該炭化珪素膜142が上記密封環本体141に生じる圧力歪とバランスする弾性歪を生じるように、設定されている。

【0020】すなわち、第1シールM₁の運転により、被密封流体領域A₁がカーボン製の密封環本体141に圧力歪（弾性歪）を生じるような圧力にまで昇圧された場合、炭化珪素膜142も当然に弾性歪を生じるが、炭化珪素膜142と密封環本体141との剛性度に明らかな差があることから、両者141、142の歪形態は大きく異なる。そして、両者141、142が一体構造を

なしていることから、それらの歪は相互に干渉して、第2密封端面14aはカーボン製の密封環本体141のみの歪による影響を受けた場合（例えば、ノーズ部141aの先端面を第2密封端面14aとした場合）と異なる形態に変形することになる。一方、炭化珪素膜142の歪形態はその膜厚Tによって異なり、両者141、142の歪干渉形態及びその歪干渉による第2密封端面14aへの影響も膜厚Tによって異なることになる。したがって、両者141、142の歪が相互に相殺されるようにバランスして、それらの歪による第2密封端面14aの影響を消失させる（第2密封端面14aが実質的に変形せず、第1密封端面12aに平行する運転開始前の形態に維持される）ような膜厚T（以下、その寸法を「平行状態維持値 T_0 」という）が存在するはずである。つまり、膜厚Tを特定の寸法（平行状態維持値 T_0 ）に設定しておく、カーボン製の密封環本体141が圧力歪を生じると否とに拘わらず、第2密封端面14aを第1密封端面12aに平行する適正状態に維持しておくことができると考えられる。

【0021】そこで、当該第1シール M_1 においては、カーボン製の密封環本体141が圧力歪を生じるような高圧条件下で炭化珪素膜142が密封環本体141の圧力歪とバランスする弾性歪を生じるような寸法（平行状態維持値 T_0 ）の膜厚Tを見出し、このような膜厚 T_0 の炭化珪素膜142により第2密封端面14aを構成しておくことによって、第2密封端面14aが第1密封端面12aに平行する適正状態に維持されるように工夫しているのである。

【0022】このような条件を満足する膜厚Tは、具体的には、例えば被密封流体圧力Pが 30 kgf/cm^2 となる高圧条件下で運転される場合であって、第2密封環12の全長（炭化珪素膜142を含む軸線方向長さ） L が 21 mm であり且つノーズ部141aの突出量（軸線方向長さ） L_0 が 5 mm である場合（ノーズ部141aの内外径は夫々 187 mm 、 199 mm ）においては、以下の実験結果からも明らかなように $0.8\text{ mm} \leq T \leq 1.2\text{ mm}$ の範囲で設定しておけばよい。

【0023】すなわち、上記した構成の第1シール M_1 を使用して、膜厚Tを 0 mm 、 0.1 mm 、 0.3 mm 、 0.8 mm 、 1.0 mm 、 1.2 mm 、 1.5 mm 、 2.0 mm 、 2.5 mm 、 3.0 mm とした各場合について、被密封流体として窒素ガスを使用すると共に非密封流体領域 A_2 を大気開放した状態でシール運転（被密封流体領域 A_1 における圧力： 30 kgf/cm^2 ）を行なった。なお、 $T=0\text{ mm}$ の場合とは、ノーズ部141aに炭化珪素膜を形成せず、ノーズ部141aの先端面を第2密封端面14aに鏡面加工した場合であり、図8に示す従来の動圧形シール m_1 と同一構造とした場合である。

【0024】そして、運転中における第2密封端面14

aの状態（第1密封端面12aに対する状態）及びシール性能について確認した。その結果は、表1に示す通りであった。なお、シール性能は、密封端面12a、14aからの窒素ガスの漏れ量を測定して、それが許容範囲内であるものについてはシール性能が良好として○で示し、許容範囲を超えるものについてはシール性能が不良であるとして×で示した。

【0025】

【表1】

膜厚T	第2密封端面	シール性能
0 mm	外高状態	×
0.1 mm	外高状態	×
0.3 mm	外高状態	×
0.8 mm	平行状態	○
1.0 mm	平行状態	○
1.2 mm	平行状態	○
1.5 mm	内高状態	×
2.0 mm	内高状態	×
2.5 mm	内高状態	×
3.0 mm	内高状態	×

【0026】すなわち、炭化珪素膜142を有しない $T=0\text{ mm}$ の場合には、第2密封端面14aが外高状態に変形し（図9（B）参照）、漏れ量が許容範囲を大幅に上回った。このような第2密封端面14aの変形は、カーボン製の密封環本体141の圧力歪によるものである。

【0027】これに対して、 $T=0.8\text{ mm}$ 、 1.0 mm 、 1.2 mm の炭化珪素膜142を有する場合には、カーボン製の密封環本体141が圧力歪を生じているにも拘わらず、第2密封端面14aが、図2（B）に示す如く、第1密封端面12aに平行する適正状態に維持され、漏れ量も許容範囲内となって良好なシール性能が発揮された。これは、被密封流体（窒素ガス）の圧力Pによりカーボン製の密封環本体141と炭化珪素膜142とに異なる圧力歪が生じ、第2密封端面14a上においては両者141、142の圧力歪がバランスして相殺され、第2密封端面14aの変形を阻止するためである。

【0028】しかし、第2密封端面14aを炭化珪素膜

142で構成した場合にも、 $T=0.1\text{mm}$ 、 0.3mm としたときには、炭化珪素膜142を有しない場合と同様に、第2密封端面14aが、図3(A)に示す如く、外高状態に変形し、良好なシール機能を発揮し得なかった。このように、第2密封端面14aを炭化珪素膜142で構成しても、その膜厚 T が平行状態維持値 T_0 ($0.8\text{mm} \leq T_0 \leq 1.2\text{mm}$)に満たないような薄膜であるときには、炭化珪素膜142の圧力歪による第2密封端面14aへの影響は炭化珪素膜142を設けない場合と変わりなく、炭化珪素膜142の存在意義が認められない。一方、 $T=1.5\text{mm}$ 、 2.0mm 、 2.5mm 、 3.0mm とした場合には、 $T=0\text{mm}$ 、 0.1mm 、 0.3mm とした場合とは逆に、第2密封端面14aが、図3(B)に示す如く、内高状態に変形した。このように、炭化珪素膜141の膜厚 T を必要以上に厚くして、平行状態維持値 T_0 を超えるような寸法の厚膜 T とすると、第2密封端面14a上における両者141、142の圧力歪バランスが崩れて、第2密封端面14aに炭化珪素膜142を設けない場合と異なった変形力が生じ、第2密封端面14aが内高状態に変形するのである。なお、何れの場合においても、密封環本体141及び炭化珪素膜142の圧力歪並びに第2密封端面14aの変形は弾性限度内のものであるから、シール運転を停止した状態では、第2密封端面14aは第1密封端面12aに平行する状態に弾性復帰された。但し、膜厚 T が平行状態維持値 T_0 (0.8mm 、 1.0mm 、 1.2mm)である場合、第2密封端面14aは、シール運転開始から運転停止に至る間において、第1密封端面12aに平行する適正状態に維持された。

【0029】ところで、第2密封環14の形状は種々であり、一般に、上記した形状の他、図4に示す如く、ノーズ部141aを外周側に設けた形状(A図)、ノーズ部141aを内周側に設けた形状(B図)及びノーズ部141aを設けない形状(C図)に大別されるが、密封環14の形状が異なっても、図5に示す如く、膜厚 T を増大するに従って、密封端面14aの圧力歪による変形態様は外高状態から平行状態を経て内高状態に移行することになる。すなわち、図5は、横軸に膜厚 T をとり、縦軸に第2密封環14が圧力歪を生じる高圧条件下での第2密封端面14aの変形程度つまりテーパ量(図3に示す如く、第2密封端面14aにおける内外周端間の軸線方向距離であり、外高状態におけるテーパ量を正とし、内高状態におけるテーパ量を負とする)をとって、膜厚 T とテーパ量 Δ との関係を示した曲線図である。

【0030】この曲線図から理解されるように、第2密封環14に圧力歪が生じる高圧条件下では、その形状に拘わらず、炭化珪素膜142を有しない場合($T=0\text{mm}$)には第2密封端面14aは外高状態に変形するが、炭化珪素膜142を有する場合にも、それが薄いときには第2密封端面14aは外高状態に変形することにな

る。膜厚 T を増大するに従って、外高状態であることに変わりはないが、そのテーパ量 Δ は減少していく。そして、膜厚 T が或る値 T_0 に達すると、第2密封端面14aは外高状態から平行状態に移行する。更に、膜厚 T が増大すると、第2密封端面14aが平行状態から内高状態に移行する。このように膜厚 T を増大させていくと、第2密封端面14aは外高状態から内高状態に移行し、その移行途中において、必ず、第2密封端面14aが平行状態となる。このときの膜厚 T の寸法が前記した平行状態維持値 T_0 であり、如何なる形状の密封環14においても、かかる平行状態維持値 T_0 は存在する。また、膜厚 T が平行状態維持値 T_0 を超える場合、膜厚 T を増大するに従って、外高状態であることに変わりはないが、そのテーパ量 Δ は増大していく。

【0031】すなわち、膜厚 T と高圧条件下での第2密封端面14aの形状との間には、

① 膜厚 T が $T < T_0$ の範囲にあるときは、密封端面14aは外高状態に変形して、そのテーパ量 Δ が膜厚 T が増大するに従って減少する、

② 膜厚 T が $T = T_0$ であるときは、密封端面14aは圧力歪により変形されずに、平行状態に維持される、

③ 膜厚 T が $T > T_0$ の範囲にあるときは、密封端面14aは内高状態に変形して、そのテーパ量 Δ は膜厚 T が増大するに従って増加する、

といった関係があり、かかる関係は、平行状態維持値 T_0 は密封環14の形状によって異なるものの、密封環14の形状等のシール条件に拘わらず、常に成立することになる。また、密封環14の形状が異なる場合にあっては、当該密封環14の基本的寸法(主として、密封環14の全長 L 及びノーズ部141aの突出量 L_0)が同等であれば、密封端面14aが平行状態に維持される膜厚寸法つまり平行状態維持値 T_0 は同等となる。

【0032】このことは、実験により確認された。すなわち、第2密封環14の形状を異にする他は上記した実験で使用したと同一構造の第1シールを使用して、上記した実験と同一条件で実験した。この実験においては、第2密封環14として図4(A)(B)(C)に示す3種類のものを使用した。各第2密封環14における全長 L 及びノーズ部141aの突出量 L_0 (図4(C)のものを除く)は、上記実験で使用したものと同一とした。その結果、何れの場合にも、第2密封端面14aが、 $T < 0.8\text{mm}$ では外高状態、 $0.8\text{mm} \leq T \leq 1.2\text{mm}$ では平行状態、 $T > 1.2\text{mm}$ では内高状態となった。また、第2密封端面14aのテーパ量 Δ は、外高状態では膜厚 T が大きくなるに従って小さくなり、逆に、内高状態では膜厚 T が大きくなるに従って大きくなった。また、これらの実験を含めて、同種の実験を数多く行なった結果、第2密封環14の形状等のシール条件にもよるが、一般的には、平行状態維持値 T_0 は、 $0.3\text{mm} \sim 3.0\text{mm}$ の範囲において見出すことができ、ま

11

た第2密封環14（ノーズ部141aを有しないものを含む）の全長Lを基準として $L/90 \leq T_0 \leq L/3$ の範囲若しくはノーズ部141aの突出量 L_0 を基準として $L_0/20 \leq T_0 \leq 2L_0/3$ の範囲で見出すことができることが判明した。なお、平行状態維持値 T_0 は、両密封端面12a、14aの平行度が適正なシール機能を発揮しうる一定の許容範囲内のものとなるような状態に第2密封端面14aが維持されるとき膜厚寸法を意味する。したがって、平行状態維持値 T_0 には或る程度の幅があり、 $T=T_0$ の場合にも、厳格な意味では、第2密封端面14aが外高状態又は内高状態に変形することになる場合もありうるが、その場合においても、テーパー量 Δ は上記平行度が許容範囲となる程度の微小なものである。

【0033】したがって、上記した構成の第1シール M_1 によれば、膜厚 T を平行状態維持値 T_0 としておくことによって、被密封流体領域 A_1 の圧力変動に拘わらず、第2密封端面14aを第1密封端面12aに平行する適正状態に維持させておくことができるのであり、カーボン製の密封環本体141に圧力歪を生じるような高圧条件下においても、密封端面12a、14a間を適正な非接触状態に維持して、良好なシール機能を発揮することができる。

【0034】また、図6及び図7は第2シールの実施の形態を示したものであり、この第2シールは、例えば密封端面の外周側を被密封流体領域とする場合、テーパーフェースシール m_2 における第2密封端面24aの形態と動圧形シール m_1 において第2密封端面14が内高状態に変形されたとときの形態とが類似すること、及び高圧条件下におけるカーボン製密封環の密封端面変形と当該密封端面を構成する炭化珪素膜の膜厚との間に上記①～③のような関係があり、膜厚を調整することによって当該密封端面の高圧条件における形態を制御することに着目して、被密封流体領域が一定圧以上に昇圧された場合に、軸線方向に直交する環状平面とされた第2密封端面がテーパーフェースシール m_2 におけると同様の環状テーパー面に自動的に変形して、良好なテーパーフェース機能を発揮しうるように工夫されたものである。

【0035】すなわち、この実施の形態における第2シール M_2 は、図6に示す如く、回転軸（例えば、インペラ軸）21に固定された第1密封環22とこれに直対向してシールケース（例えば、ポンプケーシング）23に保持された第2密封環24とを具備して、両密封環22、24の対向端面たる密封端面22a、24a間にて、その外周側領域である被密封流体領域（例えば、ポンプ室） A_1 とその内周側領域である非密封流体領域（例えば、シールケース23外に連通する大気領域） L とを、テーパーフェースシール機能によりシールするように構成されている。この第2シール M_2 は、以下に述べる第2密封環24の構成を除いて、図10に示す公知の

12

テーパーフェースシール m_2 と同一構造をなすものであるから、これと同一部材については同一の符号を付すことによつて、その詳細は省略する。なお、第1密封環22は、その密封端面たる第1密封端面22aを軸線に直交する環状平面としたもので、WC、SiC等の超硬質材で構成して、カーボン製の密封環が圧力歪を生じるような高圧条件下においても、第1密封端面22aが圧力歪により変形されることのないものである。

【0036】而して、この第2シール M_2 にあつては、本発明に従つて、第2密封環24を、図6及び図7（A）に示す如く、第1密封環22の構成材より軟質のカーボンからなる密封環本体241と、その一部たる先端部に常法により被覆形成された炭化珪素膜242とで構成してある。炭化珪素膜242は、その膜厚 T を均一とされたもので、その膜表面を第1密封端面22aに平行する環状平面をなす第2密封端面24aに構成してある。つまり、第2密封端面24aは、カーボン製の密封環本体241に被密封流体による圧力歪が全く生じない又は殆ど生じない低圧条件下（例えば、運転初期の状態）では軸線に直交する平滑面をなすように、鏡面加工されたものである。

【0037】そして、かかる第2シール M_2 の第2密封端面24aについても、炭化珪素膜242の膜厚 T との間に上記①～③の関係が成立することから、炭化珪素膜242の膜厚（表面を密封端面に鏡面加工した後の膜厚） T を平行状態維持値 T_0 を超えるものに設定して、カーボン製の密封環本体241に被密封流体による弾性限度内の圧力歪が生じる高圧条件下（当該第1シール M_1 が通常運転されている状態）において、当該炭化珪素膜242に生じる弾性歪と前記密封環本体241に生じる圧力歪との干渉により第2密封端面24aが第1密封端面22aとの間に非密封流体領域 A_1 方向に漸次窄まる断面楔状の環状空間27を形成しうる環状テーパー面に弾性変形されるように工夫してある。なお、第2シール M_2 の第2密封環24についても、第1シール M_1 の第2密封環14におけると同様に、平行状態維持値 T_0 は、一般に、0.3mm～3.0mmの範囲で、または第2密封環24の全長（膜厚 T を含む軸線方向長さ） L を基準として $L/90 \leq T_0 \leq L/3$ の範囲で見出すことができる。

【0038】また、 $T > T_0$ であれば、膜厚 T を如何なる値としても、第2密封端面24aを内高状態に弾性変形させることができるが、その変形量つまり第2密封端面24aのテーパー量 Δ は上記した如く膜厚 T の増大に従つて大きくなる。一方、テーパーフェースシール機能を良好に発揮するに最適なテーパー量 Δ には一定の制限があり、一般に、 $3\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ である。したがって、膜厚 T を決定するに当たっては、 $\Delta = 3\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ となるように配慮しておく必要があり、第2密封環24の形状等のシール条件にもよるが、一般には、膜厚 T を2

mm〜8mm程度に設定しておくことが好ましい。

【0039】以上のように構成された第2シールM₂によれば、被密封流体領域A₁の圧力条件に応じて第2密封端面24aが自動的に弾性変形して、良好なテーパフェースシール機能が発揮される。

【0040】すなわち、第2シールM₂の運転により、被密封流体領域A₁が一定圧以上に昇圧されると、膜厚TがT>T₀とされていることから、図7(B)に示す如く、密封環本体241と炭化珪素膜242との歪干渉により第2密封端面24aが内高状態に弾性変形され、つまり凸状の環状テーパ面に変形されて、密封端面22a、24a間に被密封流体の漏れ方向(非密封流体領域A₂方向)に漸次狭まる断面楔状の環状空間27が形成されることになる。その結果、冒頭で述べたテーパフェースシールm₂と同様の原理により、密封端面22a、24a間が一定の微小隙間たる平衡隙間S₀に保持されることになる。

【0041】すなわち、第2シールM₂がテーパフェースシールm₂に相当する構造に変化し、図11及び図12に示す如く、第2密封環24の背面に作用する被密封流体圧力Pによる背圧によって(より正確には、背圧及びスプリング26による附勢力によって)生じる閉力F_cと環状空間7に侵入した被密封流体の圧力(静圧)によって生じる開力F₀とがバランスされることになり、密封端面22a、24a間の隙間Sが一定の平衡隙間S₀に保持されることになる。

【0042】そして、このようなテーパフェースシール構造となすための第2密封端面24aのテーパ量Δは圧力歪によって確保されたものであるから、冒頭で述べたテーパフェースシールm₂における如く圧力歪によってテーパ量Δが減少したり環状空間27が消失したりすることがなく、良好なテーパフェースシール機能が発揮されることになる。

【0043】一方、シール運転が開始された直後等においては、つまり第2密封環24に圧力歪が生じない(回転軸21の停止等による圧力低下により圧力歪が消失した場合を含む)低圧条件下においては、第2密封端面24aは変形されず又は元の状態に弾性復帰して、軸線方向に直交する環状平面となり、密封端面22a、24aが平行状態となる。このように密封端面22a、24aが平行する状態では、密封端面22a、24a間を背圧たる閉力F_cに抗して開くだけの開力F₀は生じない。したがって、テーパフェースシール機能は発揮されないが、密封端面22a、24aが流体膜を介して相対回転摺接することによって、所謂端面接触形シールと同一の機能により、良好なシール機能が発揮されることになる。すなわち、テーパフェースシール機能が発揮されない低圧条件下においても、テーパフェースシール構造から端面接触形メカニカルシール構造へと自動的に変化して、良好なシール機能を発揮し、密封端面22a、24

a間から大量漏れが生じるようなことはない。

【0044】なお、テーパフェースシールm₂においては、第2密封端面24aをテーパ面に鏡面加工しておく必要があるが、そのテーパ量Δは微小である(密封環22、24の径等のシール条件にもよるが、一般にはΔ=3μm〜50μm程度である)から、このような加工は極めて困難であり、密封端面24aの加工費(ひいては密封環24の製作費)が徒に高騰する上、適正な加工精度を確保することも容易ではない。しかし、第2シールM₂では、第2密封端面24aをテーパ面に加工しておく必要がないから、このような加工上、製作上の問題はない。

【0045】ところで、第1及び第2シールM₁、M₂の構成は、上記した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の基本原理を逸脱しない範囲において、適宜に改良、変更することができる。

【0046】例えば、前記した構成の第1及び第2シールM₁、M₂は、何れも、密封端面の内周側領域が被密封流体領域A₁となり且つ外周側領域が非密封流体領域A₂となる場合にも使用することができる。但し、この場合、第2密封端面14a、24aにおける外高状態と内高状態との関係は、前記した場合と逆になる。例えば、第2シールM₂においてT>T₀とすると、高圧条件下では、第2密封端面24aが外高状態に変形して、テーパフェースシール機能を発揮する。また、第1密封環12、22をシールケース13、23側に設け、第2密封環14、24を回転軸11、21側に設けるようにすることも可能である。

【0047】

【発明の効果】以上の説明からも容易に理解されるように、本発明によれば、カーボン製の第2密封環を使用した非接触形メカニカルシールにおいて不可避免的に発生する第2密封端面の圧力歪によるシール機能低下を、第2密封端面を特定の膜厚とした炭化珪素膜で構成することによって、確実に防止し得て、第2密封環に圧力歪が生じる高圧条件下においても、良好なシール機能を発揮する非接触形メカニカルシールを提供することができる。しかも、膜厚の調整により、高圧条件下における第2密封端面の形状を自由に制御することができるから、シール構造を含むシール条件に応じて、良好なシール機能を発揮しうる非接触形メカニカルシールを容易に設計、製作することができ、設計通りのシール機能を発揮させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1シールの一例を示す半截の縦断側面図である。

【図2】図1の要部を拡大して示す作用説明図である。

【図3】膜厚が不適正な場合における第2密封端面の変形状態を示す図2相当図である。

【図4】第1シールにおける第2密封環の変形例を示す

縦断側面図である。

【図5】膜厚 T と第2密封端面のテーパ量 Δ との関係を示した曲線図である。

【図6】第2シールの一例を示す半截の縦断側面図である。

【図7】図6の要部を拡大して示す作用説明図である。

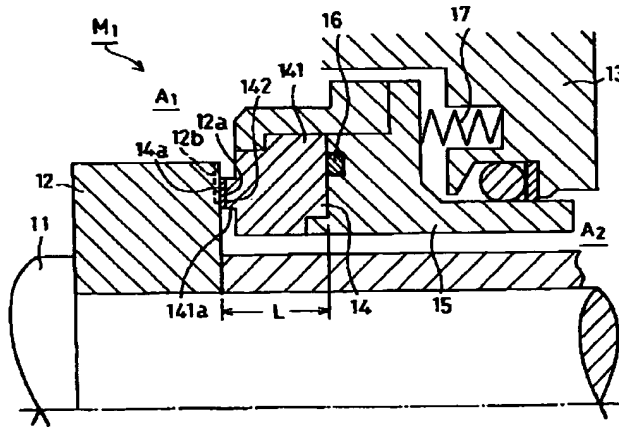
【図8】従来の動圧形シールを示す半截の縦断側面図である。

【図9】図8の要部を拡大して示す作用説明図である。

【図10】従来のテーパフェースシールを示す半截の縦断側面図である。

【図11】第2密封端面が加工された又は弾性変形された環状テーパ面である場合において両密封端面間に作用する圧力分布ないし開閉力を示す説明図である。

【図1】

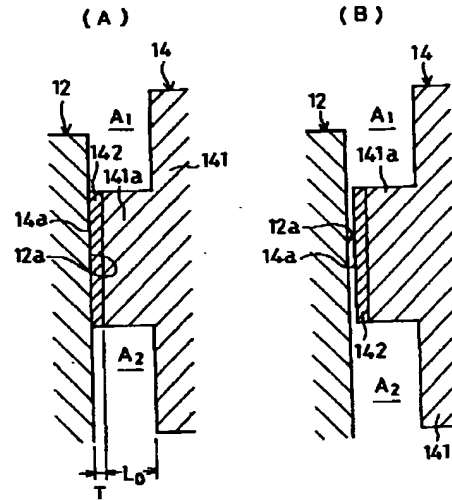


【図12】第2密封端面が加工された又は弾性変形された環状テーパ面である場合における両密封端面間の隙間と開閉力との関係を示す曲線図である。

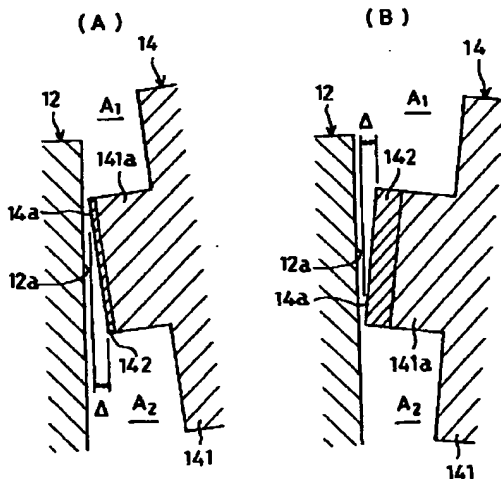
【符号の説明】

11, 21…回転軸、12, 22…第1密封環、12a, 22a…第1密封端面、13, 23…シールケース、14, 24…第2密封環、14a, 24a…第2密封端面、141, 241…密封環本体、141a…ノーズ部（密封環本体の一部）、142, 242…炭化珪素膜、27…環状空間、 A_1 …被密封流体領域、 A_2 …非密封流体領域、 M_1 …第1シール（非接触形メカニカルシール）、 M_2 …第2シール（非接触形メカニカルシール）、 T …膜厚、 Δ …テーパ量。

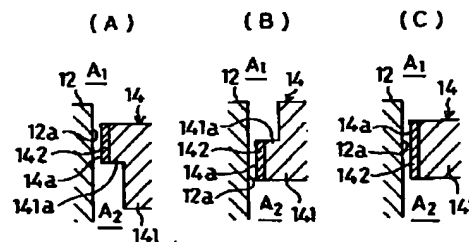
【図2】



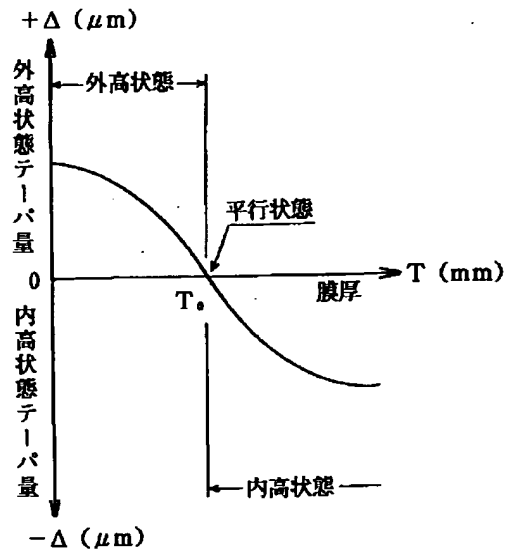
【図3】



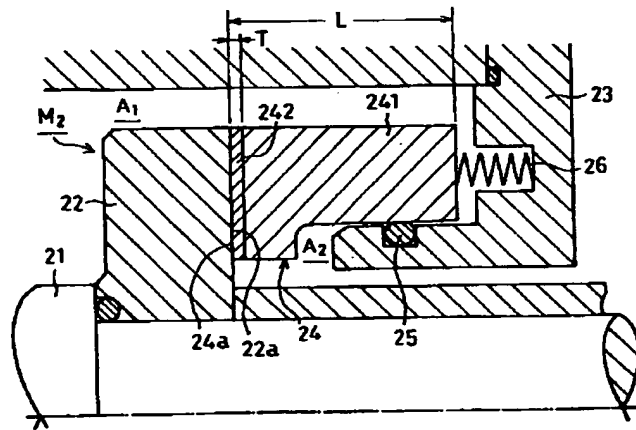
【図4】



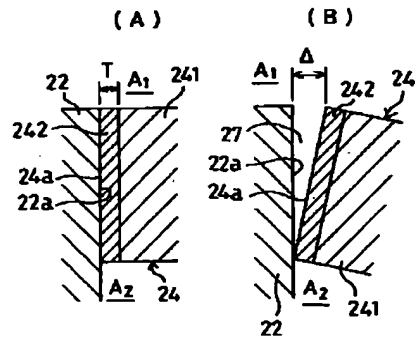
【図5】



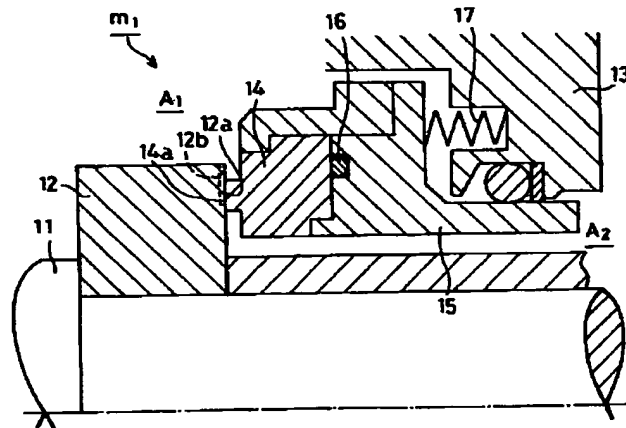
【図6】



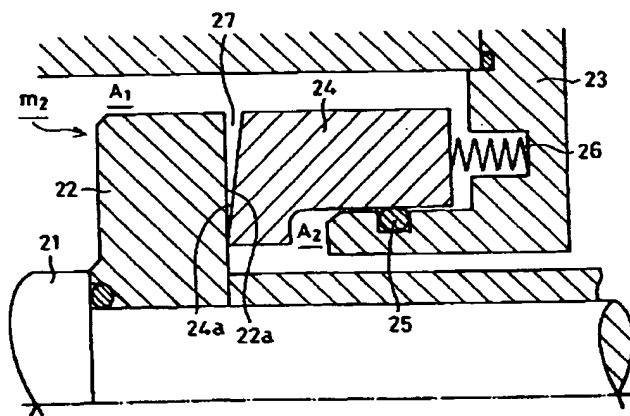
【図7】



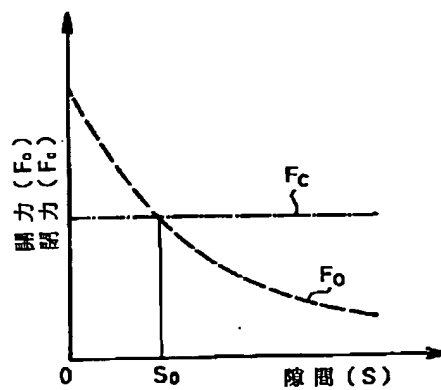
【図8】



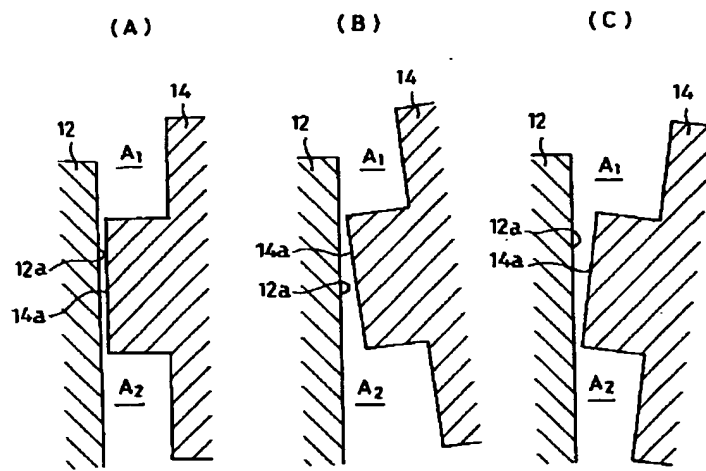
【図10】



【図12】



【図9】



【図11】

